

# Einfluss der Vorsättigung von Leichtzuschlägen auf die Rohdichte- veränderung im Pumpprozess

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 56 (2020)

Lisa Forstmaier

Carla Matthäus, M.Sc.

Arbeitsgruppe 2: Beton

## 1 Einleitung

In Bezug auf Produktivität und Gestaltung kann die Nutzung additiver Fertigungsverfahren anstelle von konventionellen Fertigungsverfahren im Betonbau den Bauprozess optimieren. Insbesondere bei der Verwendung von Leichtbeton kann man von einer zukunftsfähigen Produktionsmöglichkeit sprechen, da man zusätzliche Dämmstoffe und somit zunächst Kosten und Material einsparen kann [1]. Weiterhin vereinfacht sich dadurch der Rückbau und das Recycling am Lebensende der Baukonstruktion.

Die Anfänge der additiven Fertigung mit Leichtbeton sind vielversprechend, müssen aber noch weiterentwickelt werden. Vorteile ergeben sich vor allem durch eine zielorientierte Materialverwendung ohne die Notwendigkeit von Schalungselementen [1]. Dadurch ergibt sich auch eine größere Freiheit für das Design [1].

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden Untersuchungen mit gefügedichtem Leichtbeton durchgeführt, die auf Erfahrungen und Problemstellungen aus dem Verfahren der Extrusion - eine mögliche Verfahrenstechnik der Additiven Fertigung - aufbauen. Primär wurde dabei der Pumpprozess betrachtet, der dem letztendlichen Ausbringen und Aufbauen des Materials im additiven Fertigungsverfahren zeitlich vorgestellt ist. Als Leichtzuschlag wurde expandiertes Blähglasgranulat verwendet.

Die Schwierigkeit beim Pumpen von Leichtbeton ergibt sich durch die Druckbeanspruchung während des Pumpens kombiniert mit dieser porenreichen Betonart. Die hier verwendeten porösen Leichtzuschläge absorbieren Wasser und können dem Zementleim während des Anmischens des Betons Wasser entziehen. Während des Pumpens kann durch den Pumpendruck zudem Zementleim in die Poren gedrückt werden. [2] Durch diese Vorgänge erhöht sich die Rohdichte des Betons gegenüber dem Ausgangsmaterial vor dem Pumpen. Bei Verwendung ungesättigter Leichtzuschläge würde sich der auf den Frischbeton wirkende Pumpendruck stark auf die porösen Leicht-

zuschläge übertragen [3]. Deswegen ist die Vorsättigung hier sehr wichtig. Während der Extrusion von Leichtbeton mit kurz vorgesättigten Leichtzuschlägen (Vorsättigungszeit: 5 Minuten) wurde trotzdem festgestellt, dass sich die Rohdichte durch den Pumpprozess stark erhöht [1]. Dieser Vorgang beeinflusst die Pumpbarkeit und gewisse Eigenschaften des Betons ungünstig. So erhöhen sich infolgedessen Wärmeleitfähigkeit und Gewicht. Ziel dieser Arbeit ist es, herauszufinden, ob man durch eine verlängerte Vorsättigung der Leichtzuschläge die Rohdichte-  
veränderungen minimieren kann.

## 2 Messmethode

Grundsätzlich wurden Rezepturen untersucht, die trotz unterschiedlicher Vorsättigungszeiten, auf die gleiche Konsistenz eingestellt wurden. Da die Wasseraufnahme zeitabhängig ist, sind dazu unterschiedliche Vorsättigungswassermengen nötig. Die Ausgangsrezeptur war mit einer üblicheren Vorsättigungszeit von 5 Minuten (*VBasis*). Diese Rezeptur weist auch die zuvor genannten Probleme auf. Um die Rohdichte des Leichtbetons trotz des Pumpprozesses nun konstanter zu halten, wurden Leichtzuschläge mit einer verlängerten Vorsättigungszeit von 2 Tagen (*V2d*) und von 7 Tagen (*V7d*) kombiniert mit einer erhöhten Vorsättigungswassermenge untersucht und mit der *VBasis*-Rezeptur verglichen. Im Rahmen von realen Pumpversuchen wurden verschiedene Messungen durchgeführt, um die Eigenschaften des Frischbetons aber auch der Leichtzuschläge und des Festbetons zu analysieren. Am Frischbeton wurden hauptsächlich Viskosität, Fließgrenze, Förderrate und Rohdichte gemessen. Die Leichtzuschläge wurden jeweils aus dem frischen und dem gepumpten Mörtel ausgewaschen und anschließend bildlich und statistisch ausgewertet. Zudem wurden Festbetonprismen hergestellt und nach 28 Tagen auf Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit und Rohdichte geprüft. Dabei wurde jeweils das Material vor und nach dem Pumpen sowie bei unterschiedlichen Pumpgeschwindigkeiten verglichen.

### 3 Versuchsdurchführung

Für jede Rezeptur (VBasis, V2d, V7d) wurde ein Pumpversuch durchgeführt. Zusätzlich wurde noch ein Pumpversuch mit erhöhter Wassermenge aber nur 5 Minuten Vorsättigungszeit (2doV) durchgeführt, um den Einfluss des rein erhöhten Wassergehalts ohne entsprechend erhöhte Vorsättigungszeit zu betrachten. Dazu wurde bei der 2doV-Rezeptur die Vorsättigungswassermenge, die auf die 2d-Vorsättigung abgestimmt ist, lediglich für die Basis-Vorsättigungszeit verwendet. Der Gesamtwassergehalt der 2doV-Rezeptur stimmt damit mit der V2d-Rezeptur überein, allerdings wird weniger Wasser vor dem Pumpen von den Leichtzuschlägen aufgenommen. Wichtig war insgesamt stets der Vergleich des Materials vor dem Pumpen (v. P.) und nach dem Pumpen (n. P.), um die entstehenden Veränderungen analysieren zu können. Die verwendete Exzenterschneckenpumpe wurde auf Stufe 1 (Frequenz von ca. 7,3 Hz) und Stufe 2 (Frequenz von ca. 15,6 Hz) verwendet.

### 4 Ergebnisse

Bei den untersuchten Leichtbetonen konnte man schließlich feststellen, dass die verlängerte Vorsättigung die Rohdichteveränderungen durch den Pumpprozess deutlich abschwächen kann und die Eigenschaften konstanter gehalten werden können.

Die gemittelten Werte der Rohdichte sind in *Abbildung 1* dargestellt. Der Beton des VBasis-Versuchs hat eine höhere Rohdichte n. P. als v. P. und auch eine höhere Rohdichte bei höherer Pumpfrequenz (Stufe 2). Beim Leichtbeton aus dem V2d- und V7d-Versuch kann man sehen, dass die Rohdichte v. P./n. P. und auch n. P. St. 1/n. P. St. 2 fast konstant bleibt. Dabei bleibt die Rohdichte der V7d-Rezeptur noch geringer als die V2d-Rezeptur. Damit wirkt sich die längere Vorsättigung hier insgesamt positiv aus, da die Rohdichte konstanter eingestellt werden kann. Bei hohem Wassergehalt (2doV) ist eine Veränderung der Rohdichte von vor dem Pumpen zu nach dem Pumpen festzustellen, allerdings verändert sich diese bei Erhöhung auf Stufe 2 kaum. Die Unterschiede gegenüber vor dem Pumpen können darauf zurückgeführt werden, dass die Leichtzuschläge unter Druck mehr Wasser aufnehmen als ohne Druck und die Wasseraufnahme zudem zeitabhängig ist.

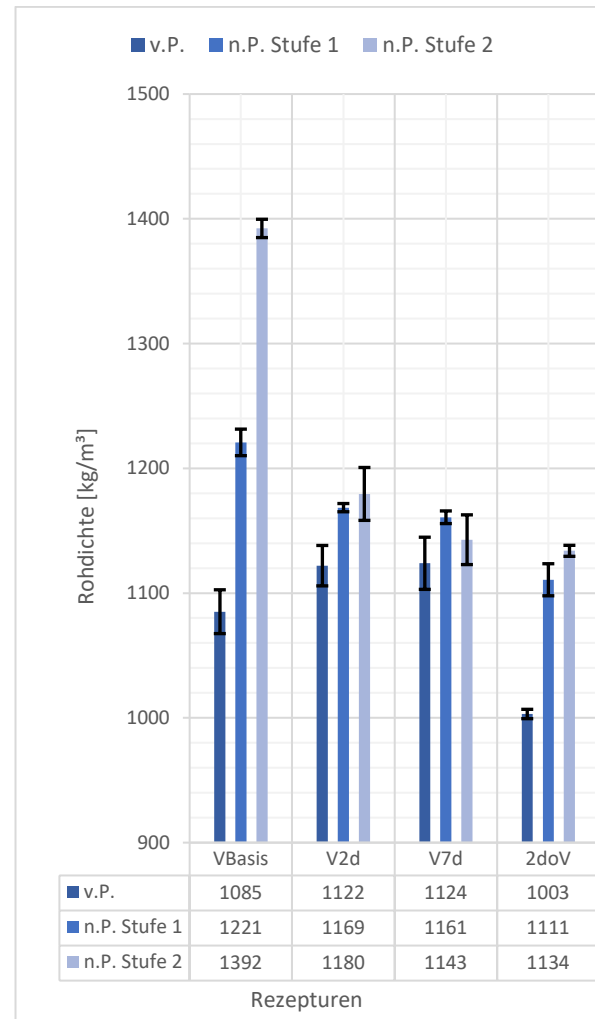


Abbildung 1: Rohdichte nach 28d

Generell steigt die Förderrate (*Abbildung 2*) in allen Rezepturen an, je höher die Frequenz bzw. die Stufe ist. Während die Förderrate beim VBasis-Versuch insgesamt eher niedrig bleibt, ist sie bei dem V2d- und V7d-Versuch deutlich höher. Bei gleicher Fördergeschwindigkeit wurde somit bei den länger vorgesättigten Rezepturen merklich mehr Material gefördert als beim VBasis-Versuch. Beim 2doV-Versuch fällt die Förderrate ähnlich hoch aus wie die der V7d-Rezeptur. Allerdings ist letztere sehr fließfähig und aufgrund der abweichenden Konsistenz nicht für den Einsatz im 3D-Druck geeignet.

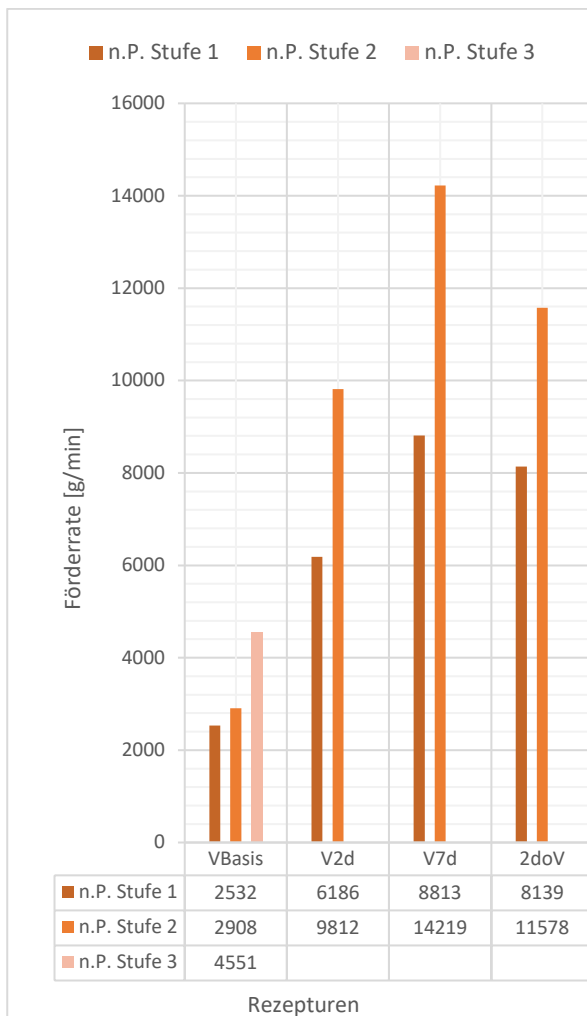


Abbildung 2: Förderrate

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Abschließend kann man feststellen, dass der hier hergestellte Leichtbeton mit länger vorgesättigten Leichtzuschlägen und damit einer höheren Wassermenge im gesamten System, geringere Rohdichteveränderungen während des Pumpens aufweist.

Zu Beginn (v. P.) erhöht sich die Rohdichte bei den länger vorgesättigten Proben (V2d und V7d) durch die erhöhte Wassermenge, jedoch ergaben sich gleichzeitig geringere Rohdichteveränderungen nach dem Pumpvorgang. Deshalb war die Rohdichte der länger vorgesättigten Proben nach dem Pumpen schließlich niedriger als die der Basis-Rezeptur.

Weiterhin kann man die V7d-Rezeptur der V2d-Rezeptur bevorzugen, da es hierbei oft noch vorteilhaftere Ergebnisse für den Pumpprozess und die Extrusion gab. Während der 7 Tage nahmen die Leichtzuschläge mehr Wasser auf als nach 2 Tagen. Die Viskosität der V7d-Rezeptur war sehr

niedrig, was günstig für die Pumpbarkeit ist. Bei der Auswertung der ausgewaschenen Leichtzuschläge konnte man zudem feststellen, dass das Blähglasgranulat der 7d-Vorsättigung durch den Zementleim kaum sichtbar mechanisch angegriffen war. Zusätzlich zur niedrigen Rohdichte nach dem Pumpen ergibt sich so insgesamt eine vielversprechende Rezeptur.

Vorteile des Leichtbetons wie das geringe Gewicht oder die wärmedämmende Wirkung, die durch die niedrige Rohdichte gegeben sind, werden bei den länger vorgesättigten Proben kaum mehr durch den Pumpprozess abgeschwächt. So kann man diese Materialeigenschaften wieder gezielt nutzen.

Lediglich eine Wiederholung der Pumpversuche wäre notwendig, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu testen. Das war im Rahmen dieser Thesis zeitlich nicht möglich. Zudem sollten die Rezepturen mit verlängerter Vorsättigung in 3D-Druckversuchen auf ihre Eignung für die Extrusion weiter untersucht werden.

## 6 Literatur

- [1] Matthäus, Carla; Back, Daniel; Weger, Daniel; Kränkel, Thomas; Scheydt, Jennifer; Gehlen, Christoph (2020): Effect of Cement Type and Limestone Powder Content on Extrudability of Lightweight Concrete. In: Freek P. Bos, Sandra S. Lucas, Rob J.M. Wolfs und Theo A.M. Salet (Hg.): SECOND RILEM INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE AND DIGITAL FABRICATION, Bd. 28. [S.I.]: SPRINGER NATURE (RILEM Bookseries), S. 312–322.
- [2] Thienel, Karl-Christian (2018): Gefügedichter und haufwerksporiger Leichtbeton. Skript für das Wintersemester am Institut für Werkstoffe des Bauwesens. Universität der Bundeswehr München
- [3] Rössig, Manfred (1974): Fördern von Frischbeton, insbesondere Leichtbeton, durch Rohrleitungen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, ursprünglich erschienen bei Westdeutscher Verlag GmbH, Opladen (Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2456).